

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.252172

OPTIMIZATION OF THE CONTROL SYSTEM FOR AN ELECTRIC POWER SYSTEM OPERATING ON A CONSTANT-POWER HYPERBOLE (p. 6–17)**Vitalii Budashko**

National University “Odessa Maritime Academy”, Odessa, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4873-5236>**Valerii Shevchenko**

National University “Odessa Maritime Academy”, Odessa, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3229-1909>**Albert Sandler**

National University “Odessa Maritime Academy”, Odessa, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0709-0542>

For an electric power system (EPS) of the combined propulsion complex (CPC), working on a constant-power hyperbola (CPH), the strategy of managing power distribution between propulsion electric motors and own needs consumers has been improved. The study reported here aimed to reduce fluctuations in current consumption and load by optimizing voltage controllers and the rotation frequency of generator assemblies (GA). The system of EPS GA voltage and frequency stabilization was synthesized by determining, in the system of equations, the dynamics of the values of EPS links' time constants and the coefficients that correspond to control parameters. To define the characteristics of the control signals from the regulators of EPS GA rotation frequency and excitation voltage, the laws that control the speed and excitation current were calculated. After sampling the coefficients of the GA speed control regulator, the tasks for the excitation voltage controller were determined. The methodology of data acquisition was applied on the basis of a correlation between the EPS characteristics and the experimental characteristics of GA. The system of EPS dynamics equations was optimized in accordance with the structure and settings of the optimal controller and the probability of a situational error by using Spearman's rank correlation coefficient. The optimization has made it possible to reduce the likelihood of a situational error during the synchronization of GA and enable the stable operation of GA close to the mode of operation on CPH. The power controller was tested under the mode of changing the load of own needs with the power levels of EPS on CPH in the range of 50–100 % of the rated power. The range of deviations of the current consumed with an enabled GA rotation controller was 10 % of the average value. The range of EPS power deviations with the power controller turned on was 5 %.

Keywords: electric power system, constant-power hyperbola, control system, optimization, correlation analysis.

References

- Haseltalab, A., Wani, F., Negenborn, R. R. (2022). Multi-level model predictive control for all-electric ships with hybrid power generation. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 135, 107484. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2021.107484>
- Boričić, A., Torres, J. L. R., Popov, M. (2021). Fundamental study on the influence of dynamic load and distributed energy resources on power system short-term voltage stability. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 131, 107141. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2021.107141>
- Ortega, Á., Milano, F. (2019). Voltage Stability of Converter-Interfaced Energy Storage Systems. *IFAC-PapersOnLine*, 52 (4), 222–227. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.08.187>
- Soomro, A. H., Larik, A. S., Mahar, M. A., Sahito, A. A., Soomro, A. M., Kaloi, G. S. (2021). Dynamic Voltage Restorer – A comprehensive review. *Energy Reports*, 7, 6786–6805. doi: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.09.004>
- Chen, Y., Huang, Z. (2014). A High Performance Computing Platform for Performing High-Volume Studies with Windows-based Power Grid Tools. *IFAC Proceedings Volumes*, 47 (3), 10772–10777. doi: <https://doi.org/10.3182/20140824-6-za-1003.00839>
- Neuman, P. (2009). Models of synchronous generator and transformers for Dispatch Training Simulators and Real Time Digital Simulators. *IFAC Proceedings Volumes*, 42 (9), 398–403. doi: <https://doi.org/10.3182/20090705-4-sf-2005.00070>
- The RTDS Simulator is the world's benchmark for real-time power system simulation. Available at: <https://www.rtds.com/>
- Budashko, V., Shevchenko, V. (2021). The synthesis of control system to synchronize ship generator assemblies. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (2 (109)), 45–63. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.225517>
- Nivelo, J. J. O., Coello, J. A. C., Pereira, G. G. C., Passos, F. O., Filho, J. M. C., Guerrero, C. A. V. et. al. (2021). Evaluating voltage drop snapshot and time motor starting study methodologies – An offshore platform case study. *Electric Power Systems Research*, 196, 107187. doi: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2021.107187>
- Hvozdeva, I., Myrhorod, V., Budashko, V., Shevchenko, V. (2020). Problems of Improving the Diagnostic Systems of Marine Diesel Generator Sets. 2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET). doi: <https://doi.org/10.1109/tcset49122.2020.235453>
- Vitalii, B., Vitalii, N., Mark, N., Sergii, K. (2018). Parametrization and identification of energy flows in the ship propulsion complex. 2018 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET). doi: <https://doi.org/10.1109/tcset.2018.8336205>
- Myrhorod, V., Hvozdeva, I., Budashko, V. (2020). Multi-parameter Diagnostic Model of the Technical Conditions Changes of Ship Diesel Generator Sets. 2020 IEEE Problems of Automated Electrodynamics. Theory and Practice (PAEP). doi: <https://doi.org/10.1109/paep49887.2020.9240905>
- Budashko, V., Shevchenko, V. (2021). Solving a task of coordinated control over a ship automated electric power system under a changing load. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (2 (110)), 54–70. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.229033>
- Van den Broeck, G., Stuyts, J., Driesen, J. (2018). A critical review of power quality standards and definitions applied to DC microgrids. *Applied Energy*, 229, 281–288. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.07.058>
- Budashko, V. V. (2017). Design of the three-level multicriterial strategy of hybrid marine power plant control for a combined propulsion complex. *Electrical Engineering & Electromechanics*, 2, 62–72. doi: <https://doi.org/10.20998/2074-272x.2017.2.10>
- Balog, R. S., Weaver, W. W., Krein, P. T. (2012). The Load as an Energy Asset in a Distributed DC SmartGrid Architecture. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 3 (1), 253–260. doi: <https://doi.org/10.1109/tsg.2011.2167722>
- Lu, X., Sun, K., Guerrero, J. M., Vasquez, J. C., Huang, L., Wang, J. (2015). Stability Enhancement Based on Virtual Impedance for DC Microgrids With Constant Power Loads. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 6 (6), 2770–2783. doi: <https://doi.org/10.1109/tsg.2015.2455017>

18. Kwasinski, A., Onwuchekwa, C. N. (2011). Dynamic Behavior and Stabilization of DC Microgrids With Instantaneous Constant-Power Loads. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 26 (3), 822–834. doi: <https://doi.org/10.1109/tpel.2010.2091285>
19. Feng, X., Ye, Z., Xing, K., Lee, F. C., Borojevic, D. (1999). Impedance specification and impedance improvement for DC distributed power system. 30th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference. Record. (Cat. No.99CH36321). doi: <https://doi.org/10.1109/pesc.1999.785616>
20. Beires, P., Vasconcelos, M. H., Moreira, C. L., Peças Lopes, J. A. (2018). Stability of autonomous power systems with reversible hydro power plants. *Electric Power Systems Research*, 158, 1–14. doi: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2017.12.028>
21. Xie, P., Tan, S., Guerrero, J. M., Vasquez, J. C. (2021). MPC-informed ECMS based real-time power management strategy for hybrid electric ship. *Energy Reports*, 7, 126–133. doi: <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.02.013>
22. Gaber, M., El-Banna, S. H., El-Dabah, M., Hamad, M. S. (2021). Intelligent Energy Management System for an all-electric ship based on adaptive neuro-fuzzy inference system. *Energy Reports*, 7, 7989–7998. doi: <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.06.054>
23. Kemmetmüller, W., Eberharter, S., Kugi, A. (2014). Quasi optimal feedforward control of a very low frequency high-voltage test system. *IFAC Proceedings Volumes*, 47 (3), 11623–11628. doi: <https://doi.org/10.3182/20140824-6-za-1003.00356>
24. Watari, D., Taniguchi, I., Goverde, H., Manganiello, P., Shirazi, E., Catt-hoor, F., Onoye, T. (2021). Multi-time scale energy management framework for smart PV systems mixing fast and slow dynamics. *Applied Energy*, 289, 116671. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116671>
25. Payvand, B., Hosseini, S. M. H. (2019). A new method for mitigating frequency fluctuations in ships with electrical propulsion. *ISA Transactions*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2019.02.013>
26. Chaal, M., Valdez Banda, O. A., Glomsrud, J. A., Basnet, S., Hirdaris, S., Kujala, P. (2020). A framework to model the STPA hierarchical control structure of an autonomous ship. *Safety Science*, 132, 104939. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104939>
27. Geertsma, R. D., Negenborn, R. R., Visser, K., Hopman, J. J. (2017). Design and control of hybrid power and propulsion systems for smart ships: A review of developments. *Applied Energy*, 194, 30–54. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.02.060>
28. Azizi, A., Peyghami, S., Mokhtari, H., Blaabjerg, F. (2019). Autonomous and decentralized load sharing and energy management approach for DC microgrids. *Electric Power Systems Research*, 177, 106009. doi: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2019.106009>
29. Yuan, Y., Wang, J., Yan, X., Shen, B., Long, T. (2020). A review of multi-energy hybrid power system for ships. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 132, 110081. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110081>
30. Adamson, G., Holm, M., Moore, P., Wang, L. (2016). A Cloud Service Control Approach for Distributed and Adaptive Equipment Control in Cloud Environments. *Procedia CIRP*, 41, 644–649. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.12.020>
31. Naik, K. R., Rajpathak, B., Mitra, A., Kolhe, M. L. (2021). Adaptive energy management strategy for sustainable voltage control of PV-hydro-battery integrated DC microgrid. *Journal of Cleaner Production*, 315, 128102. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128102>
32. Marqusee, J., Becker, W., Ericson, S. (2021). Resilience and economics of microgrids with PV, battery storage, and networked diesel generators. *Advances in Applied Energy*, 3, 100049. doi: <https://doi.org/10.1016/j.adapen.2021.100049>
33. Kusakaka, K., Phiri, S. F., Numbi, B. P. (2021). Optimal energy management of a hybrid diesel generator and battery supplying a RTG crane with energy recovery capability. *Energy Reports*, 7, 4769–4778. doi: <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.07.074>
34. Zhang, C., Jia, B. (2019). Research on Energy Efficiency Optimization Strategy of Electric Propulsion Ships with Energy Storage Devices. 2019 Chinese Automation Congress (CAC). doi: <https://doi.org/10.1109/cac48633.2019.8997039>
35. Longva, T., Eide, M. S., Skjong, R. (2010). Determining a required energy efficiency design index level for new ships based on a cost-effectiveness criterion. *Maritime Policy & Management*, 37 (2), 129–143. doi: <https://doi.org/10.1080/03088830903533759>
36. Glavatskhih, V., Lapkin, A., Dmitrieva, L., Khodikova, I., Golovin, A. (2021). Ships' energy efficiency management: organizational and economic aspect. *MATEC Web of Conferences*, 339, 01020. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/202133901020>
37. Budashko, V., Shevchenko, V. (2018). Synthesis of the Management Strategy of the Ship Power Plant for the Combined Propulsion Complex. 2018 IEEE 5th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC). doi: <https://doi.org/10.1109/msnmc.2018.8576266>
38. Budashko, V., Golikov, V. (2017). Theoretical-applied aspects of the composition of regression models for combined propulsion complexes based on data of experimental research. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (3 (88)), 11–20. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.107244>
39. Budashko, V. V. (2017). Pidvyshchennia efektyvnosti funkcionuvania sudnovykh enerhetychnykh ustanovok kombinovanykh propul'syvykh kompleksiv. Odessa. Available at: http://www.onma.edu.ua/wp-content/uploads/2016/09/Thesis_Budashko_END-1.pdf
40. Yang, H., Cheng, Y., Li, G. (2021). A denoising method for ship radiated noise based on Spearman variational mode decomposition, spatial-dependence recurrence sample entropy, improved wavelet threshold denoising, and Savitzky-Golay filter. *Alexandria Engineering Journal*, 60 (3), 3379–3400. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.01.055>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.253384

DEVISING A METHOD FOR REDUCING ACTIVE POWER CORONA LOSSES BASED ON CHANGING THE STRUCTURAL PARAMETERS OF A POWER TRANSMISSION LINE (p. 18–25)

Sergii Shevchenko

National Technical University
“Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9658-7787>

Eniola Olubakinde

National Technical University
“Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5412-1850>

Dmytro Danylchenko

National Technical University
“Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7912-1849>

Ihor Nazarenko

Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University,
Melitopol, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6365-6777>

Natalia Savchenko

Donetsk National Technical University,
Pokrovsk, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7046-0633>

Larysa Shylkova

National Technical University
“Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0009-3502>

This paper reports a study into the influence of the main design parameters of power transmission lines on energy losses associated with the corona discharge; a method has been devised to reduce them. The structure of the split-phase wire, the distance to the ground, and between the centers of the phases of the line are determined at the design stage. Based on these structural parameters, the value of specific energy losses associated with the corona discharge is calculated. Studying the impact exerted on the amount of losses by each structural parameter makes it possible at the design stage to determine the structure of a power transmission line (PTL) with low energy losses. Reducing energy loss when transporting it along the line is one of the most important issues in the strategy for the development of the energy industry at the stage of the “green transition”. It has been established that most structural parameters have a weak effect on the values of corona losses, and, if there is a significant impact, the implementation of such solutions leads to a large increase in the cost of constructing an overhead transmission line. Based on the analysis of the results of calculations of corona losses in power transmission lines, it was determined that the corona losses in the middle phase of the transmission line are much greater than in the extreme phases. That has made it possible to devise a method for reducing power corona losses associated with the alignment of the capacities of all phases of PTL. This effect is achieved by calculating, based on the developed method, the splitting step of the middle phase of PTL. The calculation of the splitting step is based on the preliminary determination of the capacity of the extreme phases and the substitution of calculated values in the resulting expression for the splitting step. The possibility of such a reduction in corona losses should significantly increase the energy efficiency of AC power transmission lines, especially in areas with large periods of different weather that provoke the occurrence of a corona discharge on the wires of their phases. This circumstance causes an increase in this type of power loss.

Keywords: power transmission line, structural parameters of power transmission line, power corona losses, line phase capacitance.

References

- Breido, I., Kaverin, V., Voytkovich, S. (2018). Distribution of Power Losses on High-Voltage Supports. DAAAM Proceedings, 0329–0337. doi: <https://doi.org/10.2507/29th.daaam.proceedings.047>
- Shevchenko, S., Koval, A., Danylchenko, D., Koval, V. (2020). Energy Crisis and Electricity Reform of Ukraine - First Results. 2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek). doi: <https://doi.org/10.1109/khpiweek51551.2020.9250119>
- Diahovchenko, I., Mykhailishyn, R., Danylchenko, D., Shevchenko, S. (2019). Rogowsky coil applications for power measurement under non-sinusoidal field conditions. *Energetika*, 65 (1). doi: <https://doi.org/10.6001/energetika.v65i1.3972>
- Kuchanskyy, V., Zaitsev, I. O. (2020). Corona Discharge Power Losses Measurement Systems in Extra High Voltage Transmissions Lines. 2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (ESS). doi: <https://doi.org/10.1109/ess50319.2020.9160088>
- Blinov, I., Zaitsev, I. O., Kuchanskyy, V. V. (2020). Problems, Methods and Means of Monitoring Power Losses in Overhead Transmission Lines. *Studies in Systems, Decision and Control*, 123–136. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-48583-2_8
- Riba, J.-R., Larzelere, W., Rickmann, J. (2018). Voltage Correction Factors for Air-Insulated Transmission Lines Operating in High-Altitude Regions to Limit Corona Activity: A Review. *Energies*, 11 (7), 1908. doi: <https://doi.org/10.3390/en11071908>
- Leman, J. T., Olsen, R. G. (2020). Bulk FDTD Simulation of Distributed Corona Effects and Overvoltage Profiles for HSIL Transmission Line Design. *Energies*, 13 (10), 2474. doi: <https://doi.org/10.3390/en13102474>
- Liu, Y., Chen, S., Huang, S. (2018). Evaluation of Corona Loss in 750 kV Four-Circuit Transmission Lines on the Same Tower Considering Complex Meteorological Conditions. *IEEE Access*, 6, 67427–67433. doi: <https://doi.org/10.1109/access.2018.2878763>
- Bousiou, E. I., Mikropoulos, P. N., Zagkanas, V. N. (2020). Corona inception field of typical overhead line conductors under variable atmospheric conditions. *Electric Power Systems Research*, 178, 106032. doi: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2019.106032>
- Tamazov, A. (2016). Poteri na koronu v vysokovol'tnykh vozdushnykh liniyakh elektroperedachi. Moscow: Sputnik+, 572.
- Rukovodiyaschie ukazaniya po uchetu poter na koronu i pomekh ot korony pri vybore provodov vozdushnykh liniy elektroperedachi peremennogo toka 330 – 750 kV i postoyannogo toka 800–1500 kV (1975). Moscow: STSNTI ORGRES, 87.
- Gul', V. I., Nizhevskiy, V. I., Homenko, I. V., Shevchenko, S. Yu., Chevychelov, V. A. (2009). Koordinatsiya izolyatsii i perenapryazheniya v elektricheskikh vysokovol'tnykh setyah. Kharkiv, 270.
- Pravyla ulashtuvannia elektroustanovok (2017). Kyiv, 617. Available at: <https://art-energetyka.com.ua/Правила-улаштування-електроустановок.pdf>
- Aleksandrov, G. N. (1989). Ustanovki sverhvisokogo napryazheniya i ohrana okruzhayushey sredy. Leningrad: Energoatomizdat. Available at: <https://www.elec.ru/viewer?url=files/2019/11/26/aleksandrov-gn-ustanovki-sverhvisokogo-napryazheni.pdf>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.251760

DETERMINATION OF OPTIMAL SIZE AND LOCATION OF STATIC SYNCHRONOUS COMPENSATOR FOR POWER SYSTEM BUS VOLTAGE IMPROVEMENT AND LOSS REDUCTION USING WHALE OPTIMIZATION ALGORITHM (p. 26–34)

Ali Abdulqadir Rasool

University of Salahaddin-Erbil, Erbil, Iraq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4735-9155>

Najimaldin M. Abbas

University of Kirkuk, Kirkuk, Iraq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8802-2738>

Kamal Sheikhyounis

University of Salahaddin-Erbil, Erbil, Iraq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7234-5337>

Power systems are usually expected to become heavily loaded as the demand for electrical energy grows and economic consideration limits the installation of additional transmission and generating capacity. Keeping the bus voltage in the power system within the standard permissible limits is an important concern to improve the voltage stability and avoid voltage collapse of the whole power system. The common and effective way to achieve this purpose is by adding flexible AC transmission line devices to the power system. One of these devices is static synchronous compensator. In this paper an approach is proposed to find optimal location and size of static synchronous compensator for improving bus voltage in the power system. A load flow is conducted to identify the low voltage buses which are the weak buses in the system and they are considered as suitable buses for static synchronous compensator connection. An objective function is formulated for optimization process which contains four parts, the voltage deviation, static synchronous compensator size, active and reactive power losses of the whole power system. Whale optimization algorithm is used for the optimization process. The proposed approach is applied on the real power system of Kurdistan Region using power system simulator for engineering software for simulating the power system and finding the optimal size and location of static synchronous compensator for bus voltage improvement. The results are encouraging for applying the approach to any power system. What distinguishes this method is that it accomplishes two things, namely reducing the bus voltage deviation to

zero which means that all bus voltages are within the permissible limits and minimizing losses as well.

Keywords: voltage stability, voltage improvement, static synchronous compensator, whale optimization algorithm.

References

- Shah, S. O., Arshad, A., Alam, S. (2021). Reactive Power Compensation Utilizing FACTS Devices. 2021 International Conference on Emerging Power Technologies (ICEPT). doi: <https://doi.org/10.1109/icept51706.2021.9435455>
- Joshi, B. S., Mahela, O. P., Ola, S. R. (2016). Reactive power flow control using Static VAR Compensator to improve voltage stability in transmission system. 2016 International Conference on Recent Advances and Innovations in Engineering (ICRAIE). doi: <https://doi.org/10.1109/icraie.2016.7939504>
- Moghavvemi, M., Faruque, M. O. (2000). Effects of FACTS devices on static voltage stability. 2000 TENCON Proceedings. Intelligent Systems and Technologies for the New Millennium (Cat. No.00CH37119). doi: <https://doi.org/10.1109/tencon.2000.888762>
- Telang, A. S., Bedekar, P. P. (2016). Application of voltage stability indices for proper placement of STATCOM under load increase scenario. International Journal of Energy and Power Engineering, 10 (7), 998–1003. Available at: <https://publications.waset.org/10006054/application-of-voltage-stability-indices-for-proper-placement-of-statcom-under-load-increase-scenario>
- Lakkireddy, J., Rastgoufard, R., Leevongwat, I., Rastgoufard, P. (2015). Steady state voltage stability enhancement using shunt and series FACTS devices. 2015 Clemson University Power Systems Conference (PSC). doi: <https://doi.org/10.1109/psc.2015.7101706>
- Minguez, R., Milano, F., Zarate-Minano, R., Conejo, A. J. (2007). Optimal Network Placement of SVC Devices. IEEE Transactions on Power Systems, 22 (4), 1851–1860. doi: <https://doi.org/10.1109/tpwrs.2007.907543>
- El Metwally, M. M., El Emary, A. A., El Bendary, F. M., Mosaad, M. I. (2008). Optimal allocation of FACTS devices in power system using genetic algorithms. 2008 12th International Middle-East Power System Conference. doi: <https://doi.org/10.1109/mepcon.2008.4562386>
- Farsangi, M. M., Nezamabadi-pour, H., Song, Y.-H., Lee, K. Y. (2007). Placement of SVCs and Selection of Stabilizing Signals in Power Systems. IEEE Transactions on Power Systems, 22 (3), 1061–1071. doi: <https://doi.org/10.1109/tpwrs.2007.901285>
- Kumarasamy, K., Raghavan, R. (2012). Particle Swarm Optimization algorithm for voltage stability improvement using multiple STATCOM. 2012 International Conference on Emerging Trends in Electrical Engineering and Energy Management (ICETEEEM). doi: <https://doi.org/10.1109/iceteem.2012.6494493>
- Rao, P., Crow, M. L., Yang, Z. (2000). STATCOM control for power system voltage control applications. IEEE Transactions on Power Delivery, 15 (4), 1311–1317. doi: <https://doi.org/10.1109/61.891520>
- Sharma, N. K., Ghosh, A., Varma, R. K. (2003). A novel placement strategy for facts controllers. IEEE Transactions on Power Delivery, 18 (3), 982–987. doi: <https://doi.org/10.1109/tpwr.2003.813874>
- Xiao, Y., Song, Y. H., Sun, Y. Z. (2002). Power flow control approach to power systems with embedded FACTS devices. IEEE Transactions on Power Systems, 17 (4), 943–950. doi: <https://doi.org/10.1109/tpwrs.2002.804919>
- Yang, C.-F., Lai, G. G., Lee, C.-H., Su, C.-T., Chang, G. W. (2012). Optimal setting of reactive compensation devices with an improved voltage stability index for voltage stability enhancement. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 37 (1), 50–57. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2011.12.003>
- Mahmood, F. B. K., Ahmad, S., Mukit, G., Shuvo, M. T. I., Razwan, S., Maruf, M. N. I., Albatsh, F. M. (2017). Weakest location exploration in IEEE-14 bus system for voltage stability improvement using STATCOM, synchronous condenser and static capacitor. 2017 International Conference on Electrical, Computer and Communication Engineering (ECCE). doi: <https://doi.org/10.1109/ecace.2017.7912980>
- Al Mamari, A. S., Toha, S. F., Ahmad, S., Al Mamari, A. S. (2021). A modal analysis based on reactive power compensation on 6-bus Oman electrical grid. International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS), 12 (2), 757. doi: <https://doi.org/10.11591/ijpeds.v12.i2.pp757-764>
- Mukhopadhyay, B., Mandal, R. K., Choudhary, G. K. (2017). Voltage Compensation In Wind Power System Using STATCOM Controlled By Soft Computing Techniques. International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE), 7 (2), 667. doi: <https://doi.org/10.11591/ijece.v7i2.pp667-680>
- Alatshan, M. S., Alhamrouni, I., Sutikno, T., Jusoh, A. (2020). Application of static synchronous compensator and energy storage system for power system stability enhancement. Bulletin of Electrical Engineering and Informatics, 9 (6), 2222–2234. doi: <https://doi.org/10.11591/eei.v9i6.2319>
- Khan, S., Bhowmick, S. (2014). STATCOM modeling for power flow analysis. 2014 6th IEEE Power India International Conference (PIICON). doi: <https://doi.org/10.1109/poweri.2014.7117603>
- Kadandani, N. B., Maiwada, Y. A. (2015). Simulation of Static Synchronous Compensator (STATCOM) for Voltage Profile Improvement. Innovative Systems Design and Engineering, 6 (7). Available at: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.10.13.4109&rep=rep1&type=pdf>
- Lin, W.-M., Lu, K.-H., Huang, C.-H., Ou, T.-C., Li, Y.-H. (2009). Optimal location and capacity of STATCOM for voltage stability enhancement using ACO plus GA. 2009 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics. doi: <https://doi.org/10.1109/aim.2009.5229769>
- Mirjalili, S., Lewis, A. (2016). The Whale Optimization Algorithm. Advances in Engineering Software, 95, 51–67. doi: <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2016.01.008>
- Vaiyapuri, T., Alaskar, H. (2020). Whale Optimization for Wavelet-Based Unsupervised Medical Image Segmentation: Application to CT and MR Images. International Journal of Computational Intelligence Systems, 13 (1), 941. doi: <https://doi.org/10.2991/ijcis.d.200625.001>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.251834
IMPROVEMENT OF REFRIGERATING MACHINE ENERGY EFFICIENCY THROUGH RADIATIVE REMOVAL OF CONDENSATION HEAT (p. 35–45)

Alexandr Tsoy

Almaty Technological University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3073-6698>

Oleksandr Titlov

Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1908-5713>

Alexandr Granovskiy

Almaty Technological University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1191-038X>

Dmitriy Koretskiy

Almaty Technological University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3110-8383>

Olga Vorobyova

Almaty Technological University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7942-6562>

Diana Tsoy

Almaty Technological University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4059-7924>

Rita Jamasheva

Almaty Technological University, Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4940-8336>

In regions with a continental climate, refrigerators with air-cooled condensers operate at high condensation pressures during the summer season which reduces their efficiency and accelerates the wear of compressors. To reduce condensation pressure, it was proposed to use radiative cooling which is a way of heat removal through the planet's atmosphere to outer space in a form of infrared radiation. A refrigerating machine with an assembly of condensation heat removal including air and liquid cooling condensers connected in series has been developed. To reduce the condensation temperature, a pre-cooled heat-transfer agent is fed to the liquid cooling condenser during the day hours at high atmospheric temperatures. At night, the heat-transfer agent is cooled by radiative cooling.

An experimental study of the operation of a 600 W refrigerating machine including a sealed piston compressor was conducted. R134a refrigerant was used. Supply of pre-cooled heat-transfer agent at +33.1 °C has provided a reduction of condensation temperature from +47.0 to +39.1 °C. The study was conducted at an atmospheric air temperature of +38.0 °C. The degree of pressure growth was decreased by 30 %. The refrigeration coefficient was increased by 11 %. In comparison with the conventional scheme with an air-cooled condenser, energy consumption by the system did not change in the daytime.

The offered scheme of condensation heat removal reduces the pressure of condensation and provides stability for refrigerating machine operation. It can be used in stationary refrigerating machines at high daytime temperatures.

Keywords: radiative cooling, energy efficiency, condensation pressure reduction, refrigerating machine.

References

- Wang, S. K. (2001). Handbook of air conditioning and refrigeration. McGraw-Hill. Available at: <https://gmpua.com/CleanRoom/HVAC/Cooling/Handbook%20of%20Air%20Conditioning%20and%20Refrigeration.pdf>
- Kurylev, E. S., Gerasimov, N. A. (1980). Holodil'nye ustanovki. Leningrad: Mashinostroenie, 622. Available at: <https://www.twirpx.com/file/1835600/>
- Fugmann, H., Nienborg, B., Trommler, G., Dalibard, A., Schnabel, L. (2015). Performance Evaluation of Air-Based Heat Rejection Systems. *Energies*, 8 (2), 714–741. doi: <https://doi.org/10.3390/en8020714>
- Xiao, L., Ge, Z., Yang, L., Du, X. (2018). Numerical study on performance improvement of air-cooled condenser by water spray cooling. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 125, 1028–1042. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.05.006>
- Zhao, B., Hu, M., Ao, X., Chen, N., Pei, G. (2019). Radiative cooling: A review of fundamentals, materials, applications, and prospects. *Applied Energy*, 236, 489–513. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.12.018>
- Hossain, M. M., Gu, M. (2016). Radiative Cooling: Principles, Progress, and Potentials. *Advanced Science*, 3 (7), 1500360. doi: <https://doi.org/10.1002/advs.201500360>
- Samuel, D. G. L., Nagendra, S. M. S., Maiya, M. P. (2013). Passive alternatives to mechanical air conditioning of building: A review. *Building and Environment*, 66, 54–64. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.04.016>
- Ahmad, M. I., Jarimi, H., Riffat, S. (2019). Nocturnal Cooling Technology for Building Applications. *SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology*. doi: <https://doi.org/10.1007/978-981-13-5835-7>
- Van der Sluis, S. M., Oostendorp, P. A., Hendriksen, L. J. A. M. (2006). Refrigeration or cooling system. WO/2006/054897 A1. Available at: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2006054897>
- Liu, J., Zhou, Z., Zhang, J., Feng, W., Zuo, J. (2019). Advances and challenges in commercializing radiative cooling. *Materials Today Physics*, 11, 100161. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mtphys.2019.100161>
- Goldstein, E. A., Raman, A. P., Fan, S. (2017). Sub-ambient non-evaporative fluid cooling with the sky. *Nature Energy*, 2 (9). doi: <https://doi.org/10.1038/nenergy.2017.143>
- Goldstein, E. A., Nasuta, D., Li, S., Martin, C., Raman, A. (2018). Free Subcooling with the Sky: Improving the efficiency of air conditioning systems. 17th International Refrigeration and Air Conditioning Conference at Purdue, 2293. Available at: <https://docs.lib.purdue.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2912&context=iracc>
- Raman, A. P., Anoma, M. A., Zhu, L., Rephaeli, E., Fan, S. (2014). Passive radiative cooling below ambient air temperature under direct sunlight. *Nature*, 515 (7528), 540–544. doi: <https://doi.org/10.1038/nature13883>
- Aili, A., Zhao, D., Lu, J., Zhai, Y., Yin, X., Tan, G., Yang, R. (2019). A kW-scale, 24-hour continuously operational, radiative sky cooling system: Experimental demonstration and predictive modeling. *Energy Conversion and Management*, 186, 586–596. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.03.006>
- Zhao, D., Aili, A., Zhai, Y., Lu, J., Kidd, D., Tan, G. et. al. (2019). Subambient Cooling of Water: Toward Real-World Applications of Daytime Radiative Cooling. *Joule*, 3 (1), 111–123. doi: <https://doi.org/10.1016/j.joule.2018.10.006>
- Maslov, O. S., Nikishin, V. V., Kozhemyachenko, A. V., Lemeshko, M. A. (2017). Issledovaniya vliyaniya ekspluatatsionnykh faktorov na teploenergeticheskie harakteristiki mal'nykh holodil'nykh mashin. *Innovatsionnye tekhnologii v obrazovanii i nauke: Sbornik materialov III Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Cheboksary, 234–242. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32266338>
- Meir, M. G., Rekstad, J. B., Løvvik, O. M. (2002). A study of a polymer-based radiative cooling system. *Solar Energy*, 73 (6), 403–417. doi: [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(03\)00019-7](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(03)00019-7)
- Tsoy, A. P., Granovskiy, A. S., Jamasheva, R. A. (2021). Methodology for determining of the main characteristics of a refrigeration system with condensation heat removal by radiative cooling. *The Journal of Almaty Technological University*, 3, 34–41. doi: <https://doi.org/10.48184/2304-568x-2021-3-34-41>
- Tsoy, A. P., Granovsky, A. S., Tsoy, D. A. (2020). Modelling of the operation of a refrigeration unit using radiative cooling to maintain the storage temperature in the cold room. *MATEC Web of Conferences*, 324, 02006. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/202032402006>
- Tsoy, A. P., Granovskiy, A. S., Tsoy, D. A., Baranenko, A. V. (2019). Simulation of radiation cooling system for air conditioning. *Journal International Academy of Refrigeration*, 3, 3–14. doi: <https://doi.org/10.17586/1606-4313-2019-18-3-3-14>
- Golaka, A. R. T., Exell, R. H. B. (2003). Night radiative cooling and underground water storage in a hot humid climate: a preliminary investigation. *Proceedings of the 2nd Regional Conference on Energy Technology Towards a Clean Environment*. Phuket. Available at: https://www.researchgate.net/profile/Auttapol-Golaka/publication/267299862_3-012_O_Night_radiative_cooling_and_underground_water_storage_in_a_hot_humid_climate_a_preliminary_investigation/links/5504638c0cf24cee39ffcbbd/3-012-O-Night-radiative-cooling-and-underground-water-storage-in-a-hot-humid-climate-a-preliminary-investigation.pdf
- Houghton, D. (2006). Radiant Night-Sky Heat Rejection and Radiant Cooling Distribution for a Small Commercial Building. *ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings*, 139–147. Available at: https://www.aceee.org/files/proceedings/2006/data/papers/SS06_Panel3_Paper12.pdf
- Coolselector@2. Danfoss. Available at: <https://www.danfoss.com/en/service-and-support/downloads/dcs/coolselector-2/>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.251232

DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL DESCRIPTION OF MECHANICAL CHARACTERISTICS OF INTEGRATED MULTI-MOTOR ELECTRIC DRIVE FOR DRYING PLANT (p. 46–54)

Sultanbek Issenov

S. Seifullin Kazakh Agro Technical University, Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4576-4621>

Ruslan Isakov

S. Seifullin Kazakh Agro Technical University, Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5948-2636>

Kazhybek Tergemes

Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4798-2817>

Zhanat Issenov

Toraighyrov University, Pavlodar, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2388-602X>

More than 60 % of electric energy in industry and agriculture is consumed by an electric drive. In a number of production mechanisms, machines and aggregates of various industries, synchronous rotation of several electric motors connected to each other mechanically, electrically or technologically is needed. This requires the use of more complex methods of controlling electromechanical systems, since two or more electric motors must work in concert for one load, which, in turn, entails the use of a new element base, power and control, allowing to implement these technological cycles of work.

The object of research is a three-motor electromechanical system interconnected and operating according to the “electric working shaft” (EWS) system. The main fundamental difference from earlier works is that they consider a system of coordinated rotation of only two asynchronous motors, respectively, only one misalignment angle between two asynchronous motors was taken into account. At the same time, the conclusions of the moments and currents of the motors were significantly simplified.

In the proposed study, the number of consistently (synchronously) rotating motors from three and above is taken into consideration. In this case, the number of misalignment angles is assumed to be equal to the number of engines, that is, three involved in rotation.

The analytical expressions of the basic electromechanical relations of the “electric working shaft” system with the regulation of the supply voltage are developed. A method is proposed for calculating the statistical characteristics of the regulated EWS system, which is easy to use and allows calculations in a wide range of rotor misalignment angles at various engine loads.

Keywords: multi-motor electric drive, electric working shaft, experimental mechanical characteristics, mathematical model, drying, technological process, synchronizing moment, additional resistance, rotor link, misalignment angle.

References

- Sadovskiy, I. M. (1948). *Soglasovannoe vraschenie asinkhronnykh dvigateley*. Moscow-Leningrad: Gosenergoizdat, 210.
- Sansyzbaevich, I. S., Sansyzbaevich, I. Z., Nurzhanuly, N. N., Amergalievich, M. S. (2017). Development of algorithm flow graph, mealy automaton graph and mathematical models of microprogram control mealy automaton for microprocessor control device. 2017 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). doi: <https://doi.org/10.1109/sibcon.2017.7998502>
- Onischenko, G. B. (2018). *Teoriya elektroprivoda*. Moscow: Infra-M, 384.
- Tergemes, K. T. (2016). *Mnogodvigatel'nye asinkhronnye elektroprivody chesal'nykh apparatov s tiristornymi preobrazovatelyami napryazheniya*. Almaty: KazNTU, 108.
- Chilikin, M. G., Sandler, A. S. (1981). *Obschiy kurs elektroprivoda*. Moscow: Energoizdat, 576.
- Donskoy, N. V. (2012). *Asinkhronnyy dvigatel' v sistemakh avtomaticheskogo upravleniya*. Cheboksary: Izd-vo Chuvashskogo universiteta, 284.
- Masandilov, L. B. (2012). *Mashinostroenie. Entsiklopediya. Vol. 4-2. Elektroprivod. Hidro- i vibroprivody. Kn. 1 Elektroprivod*. Moscow: Mashinostroenie, 520.
- Frolov, Yu. M., Shelyakin, V. P. (2018). *Reguliruemiy asinkhronnyy elektroprivod*. Sankt-Peterburg: Lan', 464.
- Firago, B. I., Pavlyachik, L. B. (2006). *Reguliruemye elektroprivody peremennogo toka*. Minsk: Tekhnoperspektiva, 363.
- Yakunicheva, O. N., Prokofeva, A. P. (2014). *Proektirovanie elektroprivoda promyshlennykh mekhanizmov*. Sankt-Peterburg: Lan', 448.
- Astashev, V. K. (2012). *Mashinostroenie. Entsiklopediya. Elektroprivod. Hidro- i vibroprivody. Vol. IV-2. Hidro- i vibroprivody*. Moscow: Mashinostroenie, 304.
- Epifanov, A. P., Guschinskiy, A. G., Malaychuk, L. M. (2016). *Elektroprivod v sel'skom khozyaystve*. Sankt-Peterburg: Lan', 224.
- Kisarimov, R. A. (2012). *Elektroprivod*. Moscow: Radio i svyaz', 352.
- Nikitenko, G. V. (2013). *Elektroprivod proizvodstvennykh mekhanizmov*. Sankt-Peterburg: Lan', 224.
- Novikov, V. A. (2014). *Elektroprivod v sovremennykh tekhnologiyakh*. Moscow: Academia, 143.
- Krylov, Yu. A., Karandayev, A. S., Medvedev, V. N. (2013). *Energoberezhenie i avtomatizatsiya proizvodstva v teploenergeticheskom khozyaystve goroda. Chastotno-reguliruemyy elektroprivod*. Sankt-Peterburg: Lan', 176.
- Isakov, R. M., Halam, S., Issenov, S. S., Isakova, A. M., Beisebekova, D. M. (2013). Heat-and-Moisture Transfer at the Feed Meal Particles Drying and Grinding. *Life Science Journal*, 10 (12s), 497–502. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27889297>
- Isakov, R. M., Isakova, A. M., Issenov, S. S., Beisebekova, D. M., Khaimuldinova, A. K. (2019). Technology of Multi-stage Sterilization of Raw Materials with the Production of Feed Meal of High Biological Value. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 13 (1), 307–312. doi: <https://doi.org/10.22207/jpam.13.1.33>
- Isakov, R. M., Issenov, S. S., Isakova, A. M., Halam, S., Beisebekova, D. M. (2015). Microbiological Appraisal of Feed Meal of Animal Origin, Produced by Drying and Grinding Installation. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 9 (1), 587–592. Available at: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84930038169&origin=resultlist>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.252352

ANALYZING THE KINETICS IN THE FILTRATION DRYING OF CRUSHED COTTON STALKS (p. 55–66)

Zagira Kobeyeva

M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7471-5098>

Alisher Khussanov

M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1563-6437>

Volodymyr Atamanyuk

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8707-2319>

Zoriana Hnativ

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7252-2789>

Botagoz Kaldybayeva

M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent,
 Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1570-2107>

Dauren Janabayev

M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent,
 Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6522-0536>

Lesia Gnylianska

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2924-7165>

The drying of crushed plant-derived materials, in particular crushed cotton stems, is a complex heat-exchange and technological task. Resolving this task successfully ultimately determines the specific energy costs of the drying process and the quality of the resulting products. The rational drying regime of crushed cotton stems should ensure the minimum possible process duration, energy costs, and provide the necessary quality characteristics of the dried material. To address this issue, it is necessary to investigate the influence of technological parameters of the process (the temperature and filtration rate of the heat agent), as well as the thickness of the stationary layer of crushed cotton stems, on drying kinetics.

This paper has generalized experimental studies into the kinetics of filtration drying of crushed cotton stems during the period of complete saturation of the thermal agent with moisture.

The influence of the temperature of the drying agent, the speed of its filtering through a stationary layer of different heights of wet crushed cotton stems, on the kinetics of filtration drying has been shown. The study's results demonstrate the dynamics of moisture removal at different parameters of the heat agent and the heights of the stationary layer of crushed cotton stems.

The resulting dependence $\eta = 3.3 \cdot 10^{-4} t^{0.54} \cdot v_0^{2.8}$, has been established, which is used to determine the value of the kinetic coefficient η for crushed cotton stems; the value of the kinetic coefficient has been calculated, $a = 20.74$ 1/m. The dependence $\frac{w^r}{w_0^r} = 1 - 3.3 \cdot 10^{-4} t^{0.54} \cdot v_0^{2.8} \cdot \tau \cdot e^{-20.74H}$,

has been derived, using which makes it possible to generalize the kinetics of filtration drying of crushed cotton stems during the period of complete saturation of the heat agent with moisture within the limits of changing the moisture content of the veneer $w_0^d \geq w^d \geq w_{cr}^d$.

The comparison of the experimental data with those obtained theoretically has shown that the maximum absolute value of relative error does not exceed 15.2 %.

Keywords: cotton stalks, kinetics, filtration drying, relative humidity, pressure loss, stationary layer, fibrous particles.

References

- Atamanyuk, V., Gnativ, Z., Kindzera, D., Janabayev, D., Khussanov, A. (2020). Hydrodynamics of Cotton Filtration Drying. *Chemistry & Chemical Technology*, 14 (3), 426–432. doi: <https://doi.org/10.23939/chcht14.03.426>
- Zhou, L., Shi, C.-Q., Liu, C.-Y., Jiang, E.-C., Xu, X.-W. (2009). Pyrolysis Characteristics And Kinetics Of Cotton Stalk. 2009 International Conference on Energy and Environment Technology. doi: <https://doi.org/10.1109/iceet.2009.192>
- Yang, Y., Zhang, Y., Zheng, W., Yuan, Q. (2013). Optimizing Technological Parameters of Cotton Stalk and Pyrolysis Products. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 44 (12), 160–163.
- Ullah, S., Zaidi, S. B. A., Aman, A. (2021). Evaluating the Properties of Bio-oil Modified Bitumen Derived from Cotton Stalk Waste. *Proceedings of the International Conference on Engineering, Technology and Social Science (ICONETOS 2020)*. doi: <https://doi.org/10.2991/assehr.k.210421.087>
- Negmatov, S. S., Holmurodova, D. K., Abed, N. S., Negmatova, K. S., Boydadaev, M. B., Tulyaganova, V. S. (2020). Development of effective compositions of composite wood-plastic board materials based on local raw materials and industrial waste. *Plasticheskie massy*, 1 (11-12), 28–32. doi: <https://doi.org/10.35164/0554-2901-2020-11-12-28-32>
- Reddy, N., Yang, Y. (2014). Fibers from Cotton Stalks. *Innovative Biofibers from Renewable Resources*, 13–14. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-662-45136-6_5
- Al Afif, R., Pfeifer, C., Pröll, T. (2020). Bioenergy Recovery from Cotton Stalk. *Advances in Cotton Research*. doi: <https://doi.org/10.5772/intechopen.88005>
- Ahimetova, G. N. (2011). World experience and review of the development of cotton production in Kazakhstan. *Modern problems of science and education*, 1, 53–58.
- Hamawand, I., Sandell, G., Pittaway, P., Chakrabarty, S., Yusuf, T., Chen, G. et. al. (2016). Bioenergy from Cotton Industry Wastes: A review and potential. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 66, 435–448. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.033>
- Kobeyeva, Z. S., Khussanov, A. Y., Atamanyuk, V. M., Khussanov, Z. Y. (2021). Determination of physico-chemical characteristics of crushed cotton stems for further processing. *Reports of the NAS RK*, 6 (340), 106–113. doi: <https://doi.org/10.32014/2021.2518-1483.117>
- Kobeyeva, Z., Khussanov, A., Atamanyuk, V., Hnativ, Z., Kaldybayeva, B., Janabayev, D. (2021). Research of hydrodynamics of gas flow filtration through a stationary layer of crushed cotton stalks (wild cotton). *Technology Audit and Production Reserves*, 5 (1 (61)), 46–51. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.240250>
- Mujumdar, A. S. (Ed.) (2015). *Handbook of Industrial Drying*. Mujumdar. CRC Press, 1352.
- Atamaniuk, V. M., Humnytskyi, Ya. M. (2013). *Naukovi osnovy filtratsiyonoho sushinnia dyspersnykh materialiv*. Lviv: Vydavnytstvo Natsionalnoho universytetu "Lvivska politehnika", 276.
- Peters, B., Bruch, C. (2003). Drying and pyrolysis of wood particles: experiments and simulation. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 70 (2), 233–250. doi: [https://doi.org/10.1016/s0165-2370\(02\)00134-1](https://doi.org/10.1016/s0165-2370(02)00134-1)
- Saastamoinen, J., Richard, J.-R. (1996). Simultaneous drying and pyrolysis of solid fuel particles. *Combustion and Flame*, 106 (3), 288–300. doi: [https://doi.org/10.1016/0010-2180\(96\)00001-6](https://doi.org/10.1016/0010-2180(96)00001-6)
- Chen, D., Zheng, Y., Zhu, X. (2013). In-depth investigation on the pyrolysis kinetics of raw biomass. Part I: Kinetic analysis for the drying and devolatilization stages. *Bioresource Technology*, 131, 40–46. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.12.136>
- Collignan, A., Nadeau, J. P., Puiggali, J. R. (1993). Description and analysis of timber drying kinetics. *Drying Technology*, 11 (3), 489–506. doi: <https://doi.org/10.1080/07373939308916840>
- Tsiura, N., Kindzera, D., Huzova, I., Atamanyuk, V. (2021). Study of the kinetics of drying iron (II) sulfate heptahydrate by filtration method. *ScienceRise*, 1 (72), 11–21. doi: <https://doi.org/10.21303/2313-8416.2021.001583>
- Matkivska, I., Gumnytskyi, Y., Atamanyuk, V. (2014). Kinetics of Diffusion Mass Transfer during Filtration Drying of Grain Materials. *Chemistry & Chemical Technology*, 8 (3), 359–363. doi: <https://doi.org/10.23939/chcht08.03.359>
- Ivashchuk, O. S., Atamanyuk, V. M., Gnativ, Z. Y., Chyzhovych, R. A., Zherebetskyi, R. R. (2021). Research into kinetics of filtration drying of alcohol distillery stillage. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*, 4, 58–65. doi: <https://doi.org/10.32434/0321-4095-2021-137-4-58-65>
- Guz'yova, I., Khanyk, Ya., Atamanyuk, V. (2003). Calculation of kinetic factors of filtration drying of disperse materials in conditions of reducing a height lay. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*, 13.1, 117–121.
- Lykov, A. V. (1968). *Teoriya sushki*. Moscow: Energiya, 472.

АНОТАЦІЇ

ENERGY-SAVING TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.252172

ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ, ПРАЦЮЮЧОЇ НА ГІПЕРБОЛІ НЕЗМІННОЇ ПОТУЖНОСТІ (с. 6–17)

В. В. Будашко, А. К. Сандлер, В. А. Шевченко

Для електроенергетичної системи (ЕЕС) комбінованого пропульсивного комплексу (КПК), працюючого на гіперболі незмінної потужності (ГНП), була вдосконалена стратегія управління розподілом потужності між гребними електродвигунами і споживачами власних потреб. Дослідження проводилися з метою зниження коливань споживаного струму та навантаження за рахунок оптимізації регуляторів напруги та частоти обертання генераторних агрегатів (ГА). Синтез системи стабілізації напруги і частоти ГА ЕЕС відбувалося за рахунок визначення в системі рівнянь динаміки величин постійних часу ланок ЕЕС та відповідних параметрам керування коефіцієнтів. Для визначення характеристик керуючих сигналів регуляторів частоти обертання та напруги збудження ГА ЕЕС було обраховані закони регулювання швидкості та струму збудження. Після дискретизації коефіцієнтів регулятора керування швидкістю ГА, були визначені задачі для регулятора напруги збудження. Було застосовано методологію збору даних на підставі кореляції характеристик ЕЕС до експериментальних характеристик ГА. Оптимізація системи рівнянь динаміки ЕЕС у відповідності до структури та налаштувань оптимального регулятора та ймовірності появи ситуаційної помилки здійснено за рахунок використання коефіцієнту кореляції R-Спірмана. Оптимізація дозволила знизити ймовірність появи ситуаційної помилки підчас синхронізації ГА та забезпечити стійку роботу ГА, близьку до режиму роботи на ГНП. Випробування регулятора потужності проводилися у режимі зміни навантаження власних потреб з рівнями потужності ЕЕС на ГНП в межах 50–100 % від номінальної. Діапазон відхилень споживаного струму при включеному регуляторі обертання ГА склав 10 % від середнього значення. Діапазон відхилень потужності ЕЕС при увімкненому регуляторі потужності становив 5 %.

Ключові слова: електроенергетична система, гіпербола незмінної потужності, система керування, оптимізація, кореляційний аналіз.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.253384

РОЗРОБКА МЕТОДУ ЗМЕНШЕННЯ ВТРАТ АКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ НА КОРОНУ, ЯКИЙ БАЗУЄТЬСЯ НА ЗМІНІ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАННЯ (с. 18–25)

С. Ю. Шевченко, Е. Олубакінде, Д. О. Данильченко, І. П. Назаренко, Н. О. Савченко, Л. В. Шилкова

Виконані дослідження впливу основних конструктивних параметрів лінії електропередавання на втрати енергії пов'язані з коронним розрядом та розроблено метод їх зниження. Конструкція розщепленого фазного проводу, відстані до землі та між центрами фаз лінії визначаються на етапі проектування. На базі цих конструктивних параметрів розраховується величина питомих втрат енергії пов'язаних з коронним розрядом. Вивчення впливу на величину втрат кожного з конструктивних параметрів дає можливість на етапі проектування розробити конструкцію лінії електропередавання (ЛЕП) з низькими втратами енергії. Зменшення втрат енергії при транспортуванні її по лінії є одним з найважливіших питань стратегії розвитку енергетичної галузі на етапі «зеленого переходу». Встановлено, що більшість конструктивних параметрів слабо впливає на величини втрат на корону, а якщо є суттєвий вплив, то реалізація подібних рішень призводить до великого підвищення ціни спорудження повітряних ліній електропередавання. На основі аналізу результатів розрахунків втрат на корону у лініях електропередавання було визначено, що втрати на корону на середній фазі лінії електропередавання набагато більші ніж на крайніх фазах. Це дало можливість розробити метод зниження втрат потужності на корону пов'язаний з вирівнюванням ємностей усіх фаз ЛЕП. Цей ефект забезпечується розрахунком, за розробленим методом, кроку розщеплення середньої фази ЛЕП. Розрахунок кроку розщеплення базується на попередньому визначенні ємності крайніх фаз та підстановкою розрахованих значень в отриманий вираз для кроку розщеплення. Можливість такого скорочення втрат на корону мають суттєво підвищити енергоефективність ЛЕП змінного струму, особливо в районах з великими періодами видів погоди, що провокують виникнення коронного розряду на проводах їх фаз. Ця обставина викликає підвищення такого виду втрат потужності.

Ключові слова: лінія електропередавання, конструктивні параметри лінії електропередавання, втрати потужності на корону, ємність фази лінії.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.251760

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ РОЗМІРІВ І РОЗМІЩЕННЯ СТАТИЧНОГО СИНХРОННОГО КОМПЕНСАТОРА ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ НАПРУГИ НА ШИНАХ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ І ЗНИЖЕННЯ ВТРАТОК З ВИКОРИСТАННЯМ АЛГОРИТМУ ОПТИМІЗАЦІЇ КИТІВ (с. 26–34)

Ali Abdulqadir Rasool, Najimaldin M. Abbas, Kamal Sheikhyounis

Зазвичай очікується, що енергосистеми будуть сильно завантажені зі зростанням попиту на електроенергію, а економічні міркування обмежують установку додаткових передавальних та генеруючих потужностей. Підтримання напруги на шині в енергосистемі в допустимих межах є важливим завданням для підвищення стабільності напруги та запобігання колапсу напруги у всій енергосистемі. Поширеним та ефективним способом досягнення цієї мети є додавання в енергосистему гнучких пристроїв лінії передачі змінного струму. Одним із таких пристроїв є статичний синхронний компенсатор. У цій роботі пропонується підхід до

пошуку оптимального розташування та розмірів статичного синхронного компенсатора для підвищення напруги на шинах в енергосистемі. Потік навантаження проводиться для визначення шин низької напруги, які є слабкими шинами в системі і розглядаються як шини для підключення статичних синхронних компенсаторів. Сформульовано цільову функцію процесу оптимізації, що містить чотири частини: відхилення напруги, розмір статичного синхронного компенсатора, втрати активної та реактивної потужності всієї енергосистеми. Алгоритм оптимізації китів використовується для процесу оптимізації. Пропонований підхід застосовується до реальної енергосистеми регіону Курдистан з використанням симулятора енергосистеми для інженерного програмного забезпечення для моделювання енергосистеми та визначення оптимального розміру та розташування статичного синхронного компенсатора для підвищення напруги на шині. Результати дослідження дозволяють застосовувати цей підхід до будь-якої енергосистеми. Що відрізняє цей метод, це те, що він виконує дві речі, а саме: зменшує відхилення напруги на шині до нуля, що означає, що всі напруги на шині знаходяться в допустимих межах, а також мінімізує втрати.

Ключові слова: стабільність напруги, підвищення напруги, статичний синхронний компенсатор, алгоритм оптимізації китів.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.251834

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ХОЛОДИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ЗА РАХУНОК РАДІАЦІЙНОГО ВІДВЕДЕННЯ ТЕПЛОТИ КОНДЕНСАЦІЇ (с. 35–45)

Alexandr Tsoy, Oleksandr Titlov, Alexandr Granovskiy, Dmitriy Koretskiy, Olga Vorobyova, Diana Tsoy, Rita Jamasheva

У регіонах з континентальним кліматом у літню пору холодильні машини з конденсаторами повітряного охолодження працюють при підвищених тисках конденсації, що знижує їх ефективність та прискорює знос компресорів. Для зниження тиску конденсації пропонується використовувати радіаційне охолодження, яке є способом відведення теплоти через атмосферу планети в космічний простір у вигляді інфрачервоного випромінювання. Розроблено холодильну установку з вузлом відведення теплоти конденсації, що складається з послідовно-з'єднаних конденсаторів повітряного та рідинного охолодження. Вдень при високих температурах атмосферного повітря для зниження температури конденсації в конденсатор рідинного охолодження подається попередньо-охолоджений теплоносій. Теплоносій охолоджується вночі за рахунок радіаційного охолодження.

Проведено експериментальне дослідження роботи холодильної установки на холодоагенті R134a з герметичним поршневым компресором продуктивністю 600 Вт. При температурі атмосферного повітря +38.0 °C подача попередньо-охолодженого теплоносія з температурою +33.1 °C забезпечила зниження температури конденсації з +47.0 до +39.1 °C. Ступінь підвищення тиску знизився на 30 %. Вдень холодильний коефіцієнт підвищився на 11 %. Енергоспоживання системи за добу практично не змінилося порівняно зі стандартною схемою з конденсатором повітряного охолодження.

Пропонована схема відведення теплоти конденсації знижує тиск конденсації, забезпечує стабільність роботи холодильної установки. Її можна використовувати в стаціонарних холодильних установках за високих денних температур атмосферного повітря.

Ключові слова: радіаційне охолодження, енергетична ефективність, зниження тиску конденсації, холодильна машина.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.251232

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОГО ОПИСУ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЗАЄМОПОВ'ЯЗАНОГО БАГАТОДВИГУННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ СУШИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ (с. 46–54)

Sultanbek Issenov, Ruslan Iskakov, Kazhybek Tergemes, Zhanat Issenov

Понад 60 % електроенергії у промисловості та сільському господарстві споживається електроприводами. У ряді виробничих механізмів, машин та агрегатів різних галузей промисловості необхідно синхронне обертання декількох електродвигунів, з'єднаних між собою механічно, електрично або технологічно. Це вимагає застосування більш складних методів управління електромеханічними системами, оскільки два або більше електродвигунів повинні працювати узгоджено на одне навантаження, що, в свою чергу, тягне за собою використання нової елементної бази, живлення та управління, що дозволяють реалізувати ці технологічні цикли роботи.

Об'єктом дослідження є тривигунова електромеханічна система, взаємопов'язана та працююча за системою «електричний робочий вал» (ЕРВ). Основна принципова відмінність від більш ранніх робіт полягає в тому, що в них розглядалася система узгодженого обертання тільки двох асинхронних двигунів, відповідно, враховувався тільки один кут несоосності між двома асинхронними двигунами. При цьому висновки про моменти та струми двигунів були значно спрощені.

У запропонованому дослідженні враховується кількість послідовно (синхронно) обертових двигунів від трьох і вище. В даному випадку кількість кутів несоосності приймається рівною кількості двигунів, задіяних в обертанні, тобто трьом.

Розроблено аналітичні вирази основних електромеханічних відношень системи «електричний робочий вал» з регулюванням напруги живлення. Запропоновано простий у використанні метод розрахунку статистичних характеристик регульованої системи ЕРВ, який дозволяє проводити розрахунки в широкому діапазоні кутів несоосності ротора за різних навантажень двигуна.

Ключові слова: багатодвигунний електропривод, електричний робочий вал, експериментальні механічні характеристики, математична модель, сушка, технологічний процес, синхронізуючий момент, додатковий опір, ланка ротора, кут несоосності.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.252352

АНАЛІЗ КІНЕТИКИ ФІЛЬТРАЦІЙНОГО СУШІННЯ ПОДРІБНЕНИХ СТЕБЕЛ БАВОВНИКА (с. 55–66)

Zagira Kobeyeva, Alisher Khussanov, В. М. Атаманюк, З. Я. Гнатів, Botagoz Kaldybayeva, Dauren Janabayev, Л. Й. Гнилянська

Сушіння подрібнених рослинних матеріалів, зокрема подрібнених стебел бавовника, є складною тепломасообмінною і технологічною задачею. Успішне розв'язання цієї задачі, у кінцевому результаті, визначає питомі енергетичні затрати на процес

сушіння та якість готової продукції. Рациональний режим сушіння подрібнених стебел бавовника повинен забезпечити мінімально можливу тривалість процесу, енергетичні витрати та забезпечити необхідні якісні характеристики висушеного матеріалу. Для вирішення цієї задачі необхідно дослідити вплив технологічних параметрів процесу (температури та швидкості фільтрування теплового агенту), а також товщини стаціонарного шару подрібнених стебел бавовника на кінетику сушіння.

Проведені узагальнення експериментальних досліджень кінетики фільтраційного сушіння подрібнених стебел бавовника в періоді повного насичення теплового агенту вологою.

Показано вплив температури сушильного агенту, швидкості його фільтрування крізь стаціонарний шар різної висоти вологих подрібнених стебел бавовника на кінетику фільтраційного сушіння. Представлені результати дослідження динаміки видалення вологи за різних параметрів теплового агенту та висот стаціонарного шару подрібнених стебел бавовника.

Отримана залежність $\eta = 3,3 \cdot 10^{-4} t^{0,54} \cdot \tau_0^{2,8}$, згідно якої визначають значення кінетичного коефіцієнту η , для подрібнених стебел бавовника та розраховано значення кінетичного коефіцієнта $a=20,74$ 1/м. Отримана залежність $\frac{\omega^c}{\omega_0^c} = 1 - 3,3 \cdot 10^{-4} t^{0,54} \cdot \tau_0^{2,8} \cdot \tau \cdot e^{-20,74H}$, за допомогою якої можна узагальнити кінетику фільтраційного сушіння подрібнених стебел бавовника у періоді повного насичення теплового агенту вологою в межах зміни вологовмісту шпону $\omega_0^c \geq \omega^c \geq \omega_{sp}^c$.

Порівнюючи експериментальні дані із теоретично розрахованими показано, що максимальне абсолютне значення відносної похибки не перевищує 15,2 %.

Ключові слова: стебла бавовника, кінетика, фільтраційне сушіння, відносна волоність, втрати тиску, стаціонарний шар, волокнисті частинки.